

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นสิ่งประดิษฐ์ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยอาศัยปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิก ซึ่งค้นพบครั้งแรกโดยเบคเคอเรล ในปี ค.ศ. 1839 (Moller, 1993) จากการศึกษาสมบัติของของแข็งที่อยู่ภายในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ขณะมีการฉายแสงอาทิตย์ลงบนตัวเซลล์จะปรากฏมีความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้าขึ้นที่ขั้วไฟฟ้า ปัจจุบันเซลล์แสงอาทิตย์ประดิษฐ์จากสารกึ่งตัวนำซึ่งสามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรงและไฟฟ้าที่ได้นั้นจะเป็นไฟฟ้ากระแสตรง และทันทีที่แสงตกกระทบบนแผ่นเซลล์รังสีของแสงที่มีอนุภาคของพลังงานประกอบที่เรียกว่า โฟตอน จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำจนมีพลังงานมากพอที่จะหลุดออกมาจากแรงดึงดูดของอะตอม และเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ ดังนั้นเมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ครบวงจรจะทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสตรงขึ้นเมื่อพิจารณาลักษณะการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์พบว่าเซลล์แสงอาทิตย์จะมีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าสูงที่สุดในช่วงเวลากลางวัน ซึ่งสอดคล้องและเหมาะสมในการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้ผลิตไฟฟ้าเพื่อแก้ไขปัญหาการขาดแคลนพลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลากลางวัน งานวิจัยและพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ของหั่วต่อพี-เอ็นของสารกึ่งตัวนำซิลิกอน เริ่มขึ้นในปี พ.ศ. 2497 หลังจากนั้นงานวิจัยก็แผ่ขยายไปสู่สารกึ่งตัวนำในกลุ่ม II-VI และ I-III-VI₂ เช่น CdTe, CdS, CuInSe₂ และ CuInGaSe₂ เป็นต้น ซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์ของสารกึ่งตัวนำในกลุ่ม II-VI ชนิดแรกคือเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดหั่วต่อวิวิธพันธุ์ (heterojunction solar cell) ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ Cu₂S/CdS ได้รับการพัฒนาขึ้นมาในเวลาใกล้เคียงกับเซลล์แสงอาทิตย์ของสารกึ่งตัวนำ Si ซึ่งปัจจุบันเซลล์แสงอาทิตย์ในท้องตลาดประดิษฐ์จากผลึกพหุพันธุ์ (polycrystalline) และอะมอร์ฟัส (amorphous) ของซิลิกอนเกือบทั้งหมด

ปัจจุบันเซลล์แสงอาทิตย์ส่วนใหญ่ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดผลิตจากซิลิกอน ต้นทุนในการผลิตซิลิกอนความบริสุทธิ์สูงยังอยู่ในระดับสูงและส่วนใหญ่ผลิตป้อนให้กับอุตสาหกรรมไมโครอิเล็กทรอนิกส์เป็นหลัก ด้วยเหตุนี้การพัฒนาโรงไฟฟ้าขนาดเทอร์ราวัตต์จากเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางยังเป็นไปได้ยาก เนื่องจากต้นทุนสูงกว่าโรงไฟฟ้าที่สร้างจากแหล่งพลังงานทางเลือกชนิดอื่น สารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์อาจเป็นวัสดุทางเลือกชนิดใหม่สำหรับเทคโนโลยีการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ในอนาคต เนื่องจากธาตุโลหะที่เป็นองค์ประกอบหลักของสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์นั้นมีปริมาณมากบนโลก ราคาถูก และไม่ก่อมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นนักวิจัยจำนวนมากจึงมุ่งความสนใจมาศึกษาสารกึ่งตัวนำออกไซด์กันมากขึ้น เพื่อที่จะค้นคว้าหาวัสดุที่มีสมบัติเหมาะสมเพื่อทดแทนการใช้ซิลิกอนในอุตสาหกรรมผลิตเซลล์แสงอาทิตย์

สารกึ่งตัวนำคิวปริคออกไซด์ (cupric oxide; CuO) เป็นสารประกอบออกไซด์อีกชนิดหนึ่งที่มีความโดดเด่น กล่าวคือมีช่องว่างแถบพลังงานเป็นแบบตรงและมีขนาดประมาณ 1.35 อิเล็กตรอนโวลต์ (Al-Kuhaili, 2008) ซึ่งสอดคล้องดีกับช่วงสเปกตรัมของแสงอาทิตย์ มีชนิดการนำไฟฟ้าเป็นแบบพี (p-type) และมีสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงที่สูงซึ่งสามารถนำไปประดิษฐ์เป็นชั้นดูดกลืนแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ CuO มีโครงสร้างผลึกเป็นแบบโมโนคลินิก ส่วนคิวปริสออกไซด์ (cuprous oxide; Cu₂O) มีโครงสร้างผลึกเป็นแบบคิวบิก มีช่องว่างแถบพลังงานเป็นแบบตรงและมีขนาดประมาณ 2.1 อิเล็กตรอนโวลต์ แต่ไม่เสถียรสามารถเปลี่ยนเฟสเป็นไปเป็น CuO ได้ที่อุณหภูมิสูงกว่า 1,000 องศาเซลเซียส (Al-Kuhaili, 2008; Gevorkyan et al., 2012) เมื่อไม่นานมานี้ นักวิจัยได้สนใจศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์และเคมี-ไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำคิวปริคออกไซด์ (CuO) กันมากขึ้น สารกึ่งตัวนำชนิดนี้มีโครงสร้างผลึกแบบโมโนคลินิก มีโครงสร้างแถบพลังงานเป็นแบบตรงและช่องว่างแถบพลังงาน (E_g) ประมาณ 1.35 อิเล็กตรอนโวลต์ สามารถดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นอินฟราเรดและช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็นได้ จึงเหมาะสมที่จะพัฒนาเป็นชั้นดูดกลืนแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ สารกึ่งตัวนำ CuO มีข้อดีหลายประการ เช่น โลหะทองแดงมีมากในธรรมชาติ CuO ไม่เป็นสารพิษ และมีสภาพการนำไฟฟ้าเป็นได้ทั้งชนิดพีและเอ็น (Al-Kuhaili, 2008) เป็นผลให้มีการนำสารกึ่งตัวนำ CuO มาประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ เช่น อุปกรณ์โฟโตโวลตาอิก ฟิล์มเคลือบอิเล็กโตรโครมิก (electrochromic coatings) ประยุกต์ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสารเคมี สารกึ่งตัวนำยิ่งยวดที่อุณหภูมิสูง และประยุกต์เป็นขั้วตัวนำไฟฟ้าโปร่งแสงชนิดพี เป็นต้น อีกทั้งในปัจจุบันได้มีการริเริ่มมีการวิจัยและพัฒนาชั้นเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดรอยต่อวิวิธพันธุ์ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำออกไซด์ในหลากหลายรูปแบบเช่น p-Cu₂O/n-ZnO (Jeong et al., 2008), p-Cu₂O/n-CuO (Jayathilaka et al., 2015; Wijesundera, 2010), CuO/ZnO (Zainelabdin et al., 2012), และ p-CuO/n-Si (Gao et al., 2012) เป็นต้น เนื่องจากสารประกอบออกไซด์ส่วนใหญ่ มีเสถียรภาพดีแม้ในสภาวะอุณหภูมิสูง ไม่เป็นสารพิษ ราคาขอมเยา จึงเป็นทางเลือกใหม่ที่จะนำมาผลิตเป็นเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อทดแทนซิลิคอนที่ใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ในปัจจุบัน จากการศึกษาในเบื้องต้นพบว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดรอยต่อวิวิธพันธุ์ของฟิล์มบาง p-Cu₂O/n-ZnO มีประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าสูงในระดับ 3.83 % (Minami et al., 2011) จึงเป็นแรงจูงใจให้นักวิจัยจำนวนมากมุ่งความสนใจมายังสารกึ่งตัวนำออกไซด์กันมากขึ้น อีกทั้งได้มีการประดิษฐ์รอยต่อวิวิธพันธุ์ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำออกไซด์กับสารประกอบซัลโคจีไนด์ เช่น CuAlO₂/CdZnS (Gaewdang et al., 2011), p-Cu_xSn_yS₂O/n-ZnO (Nakashima and Ichimura, 2012) และ CuO/CdS (Gaewdang and Wongcharoen, 2015; จูตินัย, 2557) พบว่ามีสมบัติเรียงกระแสน้ำที่ดี แต่ยังไม่มียารายงานเกี่ยวกับการศึกษาผลการตอบสนองต่อแสงอาทิตย์

การสังเคราะห์ฟิล์มบางของ CuO ให้มีโครงสร้างในระดับไมโครเมตร หรือในระดับนาโนเมตร สามารถสังเคราะห์ได้หลากหลายวิธีทั้งทางเคมี และทางฟิสิกส์ เช่น วิธีการระเหยด้วยความร้อนภายในระบบสุญญากาศ (vacuum evaporation) วิธีระเหยด้วยลำอิเล็กตรอน และวิธีเคลือบด้วยไฟฟ้าใน

สารละลายเคมี วิธีพาไอระเหยสารเคมี (chemical vapor deposition) วิธีออกซิเดชันด้วยความร้อน (thermal oxidation) วิธีรีแอทีฟสปัตเตอริง (reactive sputtering) วิธีเคลือบจากสภาวะพลาสมา (plasma deposition) วิธีจุ่มในโซล-เจล (sol-gel deposition) เป็นต้น แต่ละวิธีจะมีข้อเด่นและข้อด้อยแตกต่างกันไป จากผลการทดลองฟิล์มบางที่เตรียมได้มักจะมีเฟสของ Cu, Cu₂O ปรากฏร่วมกันเสมอ แต่สำหรับเฟสเดี่ยวของฟิล์มบาง CuO สามารถเตรียมได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยความร้อนของฟิล์มโลหะ Cu ในช่วงอุณหภูมิ และช่วงเวลาที่เหมาะสม

การเตรียมฟิล์มบางด้วยวิธีดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอริงมีข้อดีหลายประการคือ ฟิล์มบางที่เตรียมได้มีความเรียบสม่ำเสมอ ยึดติดแน่นกับแผ่นฐานรองได้ดี ควบคุมอัตราการเคลือบได้ง่าย อุณหภูมิในการเคลือบฟิล์มบางต่ำ ดังนั้นข้อบกพร่องผลึกจึงน้อย ด้วยเหตุนี้จึงเป็นที่น่าสนใจที่จะประดิษฐ์ฟิล์มบางฟิล์มบางคอปเปอร์ออกไซด์ด้วยวิธีดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอริงจากเป่าโลหะ Cu โดยการเลือกอัตราการไหลของก๊าซ Ar และ O₂ ที่เหมาะสม จากนั้นจึงทำการศึกษาคูสมบัติพื้นฐานทางฟิสิกส์อันได้แก่ โครงสร้างผลึกเชิงจุลภาค โครงสร้างผลึกเชิงมหภาค คุณสมบัติทางแสงและคุณสมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มบางที่เตรียมได้

จากการค้นคว้าและรวบรวมข้อมูลพบว่าอิเล็กทรอนิกส์ของ CdS และ CuO มีค่าเท่ากับ 4.20 และ 4.07 อิเล็กตรอนโวลต์ ตามลำดับ (Escorcia-Garcia et al., 2014; Chabane, 2015) ส่วนช่องว่างและแถบพลังงานของ CdS และ CuO มีค่าเท่ากับ 2.40 และ 1.35 อิเล็กตรอนโวลต์ ซึ่งจะคำนวณได้ว่าค่าออฟเซต (offset) ของแถบนำ (ΔE_C) และค่าออฟเซตของแถบนำวาเลนซ์ (ΔE_V) ของโครงสร้างแถบพลังงานของรอยต่อวิวิธพันธุ์ CdS/CuO จะมีค่าเท่ากับ 0.13 และ 0.92 อิเล็กตรอนโวลต์ คาดว่าแรงดันตกคร่อมรอยต่อ (built-in potential) จะมีค่าประมาณ 1.09 อิเล็กตรอนโวลต์ ในเบื้องต้นคณะผู้วิจัยได้ทำการเคลือบฟิล์มบาง CdS ลงบนเซรามิกของ CuO และนำไปแอลนีลในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ พบว่าเป็นรอยต่อที่มีสมบัติเรียงกระแสแบบไดโอดที่ดี โดยมีแรงดันทำงาน (working voltage) หรือแรงดันเทิร์น ออน (turn on voltage) ของกราฟความสัมพันธ์กระแส-แรงดันไฟฟ้าที่อุณหภูมิห้องประมาณ 1 โวลต์ (Gaewdng and Wongcharoen, 2015; ฐิตินัย, 2557) ซึ่งสอดคล้องดีกับค่าแรงดันตกคร่อมรอยต่อของโครงสร้างแถบพลังงานของรอยต่อดังกล่าว

ด้วยเหตุนี้จึงเป็นที่น่าสนใจที่จะประดิษฐ์ฟิล์มบาง CuO โดยวิธีรีแอทีฟสปัตเตอริง และประดิษฐ์ฟิล์มบาง CdS โดยวิธีระเหยสารด้วยความร้อนภายในระบบสุญญากาศ ให้มีโครงสร้างเป็นรอยต่อวิวิธพันธุ์และในเบื้องต้นจะทำการศึกษาคูสมบัติในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าของรอยต่อวิวิธพันธุ์ CdS/CuO นี้โดยการวัดพารามิเตอร์ที่สำคัญต่างๆ เช่นกระแสลัดวงจร (I_{sc}) แรงดันวงจรเปิด (V_{oc}) ฟิสิกแฟกเตอร์ (FF) และประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า จากนั้นในขั้นต่อไปจะเป็นการพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้ให้มีประสิทธิภาพสูงยิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เตรียมฟิล์มบาง CuO โดยวิธีรีแอ็คทีฟดีซีสปัตเตอร์เคลือบบนกระจกสไลด์จากเป้าที่เป็นโลหะทองแดงความบริสุทธิ์สูง โดยเลือกเงื่อนไขที่เหมาะสม เช่น อัตราการไหลของก๊าซอาร์กอนและก๊าซออกซิเจน รวมทั้งเลือกความดันบรรยากาศของห้องสุญญากาศขณะทำการสปัตเตอร์เป็นต้น
- 1.2.2 เตรียมฟิล์มบาง CdS โดยวิธีระเหยสารด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศให้เคลือบบนกระจกสไลด์ที่มีชั้นไฟฟ้าโปร่งแสง FTO จากนั้นจึงเคลือบฟิล์มบาง CuO โดยวิธีรีแอ็คทีฟดีซีสปัตเตอร์ลงบนฟิล์มบาง CdS เพื่อให้เป็นรอยต่ออเนกประสงค์ CdS/CuO โดยเลือกเงื่อนไขที่เหมาะสม
- 1.2.3 ประดิษฐ์ขั้วไฟฟ้าด้านหลังให้มีสมบัติเป็นรอยต่อโอห์มิกบนฟิล์มบาง CuO โดยการเคลือบฟิล์มบาง Cu ด้วยวิธีรีแอ็คทีฟดีซีสปัตเตอร์
- 1.2.4 ศึกษาลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์ต้นแบบโดยการวัดกระแส-แรงดันไฟฟ้า, วัดความจุ-แรงดันไฟฟ้าและศึกษาอิมพีแดนซ์สเปกโตรสโคปีของเซลล์แสงอาทิตย์ต้นแบบ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 เตรียมฟิล์มบาง CuO โดยวิธีรีแอ็คทีฟดีซีสปัตเตอร์เคลือบบนกระจกสไลด์จากเป้าที่เป็นโลหะทองแดงความบริสุทธิ์สูง โดยเลือกเงื่อนไขที่เหมาะสม เช่น อัตราส่วนผสมของก๊าซอาร์กอนและก๊าซออกซิเจน ความดันบรรยากาศของห้องสุญญากาศขณะทำการสปัตเตอร์ และอุณหภูมิของแผ่นฐานรองรับเป็นต้น
- 1.3.2 เตรียมฟิล์มบาง CdS โดยวิธีระเหยสารด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศลงบนกระจกสไลด์ที่มีชั้นไฟฟ้าโปร่งแสง FTO เคลือบไว้แล้ว โดยเลือกเงื่อนไขที่เหมาะสม และฟิล์มบาง CdS นี้จะทำหน้าที่เป็นชั้นหน้าต่างของเซลล์แสงอาทิตย์
- 1.3.3 เตรียมฟิล์มบาง CuO โดยวิธีรีแอ็คทีฟดีซีสปัตเตอร์เพื่อเคลือบลงบนฟิล์มบาง CdS โดยเลือกเงื่อนไขที่เหมาะสม และฟิล์มบาง CuO นี้จะทำหน้าที่เป็นชั้นดูดกลืนแสงของเซลล์แสงอาทิตย์
- 1.3.4 ตรวจสอบโครงสร้างผลึกของฟิล์มบาง CuO ด้วยวิธีเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ ตรวจสอบผิวหน้าของฟิล์มบางด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และตรวจสอบองค์ประกอบของฟิล์มบางด้วยเทคนิค EDS
- 1.3.5 ประดิษฐ์ขั้วไฟฟ้าด้านหลังของเซลล์แสงอาทิตย์โดยการเคลือบฟิล์มบาง Cu ด้วยวิธีรีแอ็คทีฟดีซีสปัตเตอร์

- 1.3.6 ศึกษาสมบัติเชิงไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ต้นแบบ โดยการวัดกระแส-แรงดันไฟฟ้าเพื่อหาพารามิเตอร์ที่สำคัญได้แก่ ค่ากระแสลัดวงจร ค่าแรงดันวงจรเปิด ค่าฟิลแฟกเตอร์ ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ประดิษฐ์ขึ้น วัดความจุ-แรงดันไฟฟ้าและศึกษาอิมพีแดนซ์สเปกโตรสโคปีของรอยต่อพี-เอ็น

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

- 1.4.1 พัฒนาระบบการเตรียมฟิล์มบางโดยวิธีรีแอคทีฟดีซีสปัตเตอริงในห้องสุญญากาศความดันต่ำให้เหมาะสมที่จะเตรียมฟิล์มบาง CuO
- 1.4.2 เตรียมฟิล์มบาง CuO โดยวิธีรีแอคทีฟดีซีสปัตเตอริงลงบนกระจกสไลด์ โดยเลือกเงื่อนไขที่เหมาะสม
- 1.4.3 เตรียมฟิล์มบาง CdS โดยวิธีระเหยสารด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศลงบนกระจกสไลด์ที่มีขั้วไฟฟ้าโปร่งแสง FTO เคลือบไว้แล้ว โดยเลือกเงื่อนไขที่เหมาะสม
- 1.4.4 เตรียมฟิล์มบาง CuO โดยวิธีรีแอคทีฟดีซีสปัตเตอริงเพื่อเคลือบลงบนฟิล์มบาง CdS โดยเลือกเงื่อนไขที่เหมาะสม และฟิล์มบาง CuO นี้จะทำหน้าที่เป็นชั้นดูดกลืนแสงของเซลล์แสงอาทิตย์
- 1.4.5 ตรวจสอบโครงสร้างผลึกของฟิล์มบาง CdS และ CuO ด้วยวิธีเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์
- 1.4.6 ตรวจสอบผิวหน้าของฟิล์มบาง CdS และ CuO ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (AFM) รวมทั้งตรวจสอบองค์ประกอบของฟิล์มบางด้วยเทคนิค EDS
- 1.4.7 ประดิษฐ์ขั้วไฟฟ้าด้านหลังของเซลล์แสงอาทิตย์โดยการเคลือบฟิล์มบาง Cu ด้วยวิธีดีซีสปัตเตอริง
- 1.4.8 ศึกษาสมบัติเชิงไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ต้นแบบ โดยการวัดกระแส-แรงดันไฟฟ้าเพื่อหาพารามิเตอร์ที่สำคัญได้แก่ ค่ากระแสลัดวงจร, ค่าแรงดันวงจรเปิด, ค่าฟิลแฟกเตอร์ ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ประดิษฐ์ขึ้น รวมทั้งวัดความจุ-แรงดันไฟฟ้าและศึกษาอิมพีแดนซ์สเปกโตรสโคปีของรอยต่อพี-เอ็น
- 1.4.9 วิเคราะห์และสรุปผล
- 1.4.10 เขียนรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ทำให้ทราบถึงวิธีการเตรียมฟิล์มบาง CuO โดยวิธีรีแอ็คทีฟดีซีสเป็คเตอรืงลงบนกระจกสไลด์ โดยเลือกเงื่อนไขที่เหมาะสม
- 1.5.2 ทำให้ทราบถึงวิธีการประดิษฐ์รอยต่อวิวิธพันธุ์ของฟิล์มบาง CdS/CuO โดยการเคลือบฟิล์มบาง CuO โดยวิธีรีแอ็คทีฟดีซีสเป็คเตอรืงให้เคลือบลงบนฟิล์มบาง CdS โดยเลือกเงื่อนไขที่เหมาะสม และฟิล์มบาง CuO นี้จะทำหน้าที่เป็นชั้นดูดกลืนแสงของเซลล์แสงอาทิตย์
- 1.5.3 ทำให้ทราบถึงวิธีการศึกษาสมบัติเชิงไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ต้นแบบ โดยการวัดกระแส-แรงดันไฟฟ้า เพื่อหาพารามิเตอร์ที่สำคัญได้แก่ ค่ากระแสลัดวงจร, ค่าแรงดันวงจรเปิด, ค่าฟิลแฟกเตอร์ ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ประดิษฐ์ขึ้น
- 1.5.4 ได้ผลงานวิจัยที่สามารถนำไปเผยแพร่ในวารสารและนำเสนอในงานประชุมทางวิชาการระดับชาติและระดับนานาชาติได้